



ГОСУДАРСТВЕННЫЙ КОМИТЕТ  
ПО ИЗОБРЕТЕНИЯМ И ОТКРЫТИЯМ  
ПРИ ГКНТ СССР

# ОПИСАНИЕ ИЗОБРЕТЕНИЯ

## К АВТОРСКОМУ СВИДЕТЕЛЬСТВУ

ВСЕСОЮЗНАЯ  
ПАТЕНТНО-ТЕХНИЧЕСКАЯ  
БИБЛИОТЕКА

(21) 4427045/24-21

(22) 03.03.88

(46) 23.12.89. Бюл. № 47

(71) Институт проблем технологии микроэлектроники и особо чистых материалов АН СССР и Московский институт стали и сплавов

(72) А.П.Володин и В.С.Эдельман

(53) 621.385.833(088.8)

(56) Бинниг Д. и Рорер Г. Растровый туннельный микроскоп. - В мире науки, 1985, № 10, с. 26.

Бинниг Д. и Смит Д. Трубчатый трехкоординатный пьезопреобразователь для растрового туннельного микроскопа. - Приборы для научных исследований, 1986, № 8, с. 152.

(54) СКАНИРУЮЩИЙ ТУННЕЛЬНЫЙ МИКРОСКОП

(57) Изобретение относится к туннельной электронной микроскопии и может

быть использовано в приборах для исследования физических свойств поверхностей твердых тел с разрешающей способностью порядка размеров атомов. Целью изобретения является увеличение чувствительности микроскопа и области сканирования за счет снижения влияния вибрационных помех и независимого регулирования управляющих напряжений, подаваемых на пьезоэлементы системы перемещения измерительной иглы и образца. Сканирующий туннельный микроскоп содержит два идентичных по форме и размерам трубчатых пьезоэлемента, которые расположены соосно и закреплены на корпусе противоположными торцами. На смежных торцах расположены напротив друг друга держатели образца и измерительной иглы, причем разность масс держателей не превышает 0,24 массы трубчатого пьезоэлемента. 1 ил., 1 табл.

Изобретение относится к туннельной электронной микроскопии и может быть использовано в приборах для исследования физических свойств поверхностей твердых тел с разрешающей способностью порядка размеров атомов, в частности атомной структуры твердых тел, электронных свойств твердых тел в атомном масштабе, процессов адсорбции и поверхностной диффузии атомов и молекул, строения молекул и субмикроскопических объектов, а также биологических процессов и контроля изделий микроэлектроники.

Целью изобретения является увеличение чувствительности микроскопа и области сканирования за счет снижения влияния вибрационных помех и независимого регулирования управляющих напряжений, подаваемых на пьезоэлементы системы перемещения измерительной иглы и образца.

На чертеже представлена конструктивная схема туннельной ячейки микроскопа.

Все детали сканирующего туннельного микроскопа закреплены на жестком корпусе 1. Идентичные трубчатые пьезо-

элементы 2 и 3 из пьезокерамики с нанесенными на нее электродами управления закреплены своими торцами на противоположных сторонах корпуса и установлены соосно друг другу.

На свободных торцах первого 2 и второго 3 пьезоэлементов установлены идентичные втулки 4, на которых закреплены соответственно цилиндрический держатель 5 измерительной иглы 6 и цилиндрический держатель 7 образца 8. Втулки 4 выполнены, например, в виде цанговых зажимов с пружинящими лепестками, охватывающими цилиндрические держатели. Держатели 5 и 7 выполнены так, что их массы не превышают 0,24 массы пьезоэлементов.

Сканирующий туннельный микроскоп работает следующим образом.

Предварительно между образцом 8 и измерительной иглой 6 устанавливают зазор 0,1–1 мкм. Далее под воздействием управляющего напряжения  $U_z$ , прикладываемого к электродам первого пьезоэлемента 2 и вызывающего его удлинение (или укорочение – в зависимости от знака приложенного напряжения), происходит дальнейшее сближение иглы и образца и при достижении зазора в несколько ангстрем между ними возникает туннельный ток, который в последующем схема автоматического управления поддерживает на заданном уровне.

Сканирование по направлениям X и Y проводится подачей соответствующих управляющих напряжений по строкам и кадрам.

Использование в конструкции двух идентичных трубчатых пьезоэлементов позволяет один из них применить для сканирования иглы в плоскостях X, Y, а другой – для задания взаимного перемещения иглы и образца по оси Z. Тем самым достигается то, что каждое из управляющих напряжений может изменяться во всем допустимом диапазоне, т.е. размеры области сканирования увеличиваются в 2–3 раза по сравнению с известным микроскопом. Однако в отличие от измерительной иглы, имеющей ничтожно малую массу, держатель образца обычно имеет массу  $m_{g.o}$ , сравнимую или большую массы пьезоэлемента  $m_{п.э}$ .

Анализ влияния внешних вибраций на чувствительность микроскопа в этом случае показывает следующее.

Под воздействием вибраций происходит взаимное смещение образца и измерительной иглы, что приводит к появлению шумового сигнала. Частоты вибраций лежат обычно в пределах  $\gamma_{виб} \sim 10$ –100 Гц, амплитуды – в пределах 1–10 мкм. Собственные частоты колебаний элементов сканирующих туннельных микроскопов лежат в диапазоне  $\gamma_{собс} \approx 1$ –100 кГц. Таким образом, всегда выполняется условие  $\gamma_{виб} \ll \gamma_{собс}$ . При этом условии амплитуды взаимных колебаний деталей прибора ослабляются в  $(\gamma_{собс} / \gamma_{виб})^2$  раз, по сравнению с амплитудой колебаний корпуса прибора. В предлагаемом сканирующем туннельном микроскопе, как и в известном, наименьшую собственную частоту имеют изгибные колебания трубчатого пьезоэлемента, и именно ими обусловлен шум. Так, наименьшая собственная частота изгибных колебаний трубчатого пьезоэлемента, использовавшегося нами и нагруженного только иглой с ничтожно малой массой, равна 7 кГц, т.е. спектральные составляющие вибраций с амплитудой 1 мкм и частотой 100 Гц ослабляются до уровня  $\sim 0,2$  нм, что недостаточно для проведения измерений с атомным разрешением. Формула для наименьшей частоты собственных колебаний трубки может быть приведена к виду

$$\gamma_{собс} = \frac{1}{2\pi} \sqrt{\frac{K}{0,24m_{п.э}}}$$

где K – изгибная жесткость;

$m_{п.э}$  – полная масса в данном случае трубчатого пьезоэлемента.

Если на конце пьезоэлемента укреплен компактный держатель образца с массой  $m_{g.o}$ , то формула преобразуется к виду

$$\gamma_{собс} = \frac{1}{2\pi} \sqrt{\frac{K}{m_{g.o} + 0,24m_{п.э}}}$$

т.е. в этом случае амплитуда вибраций вырастет в  $\left(\frac{m_{g.o} + 0,24m_{п.э}}{0,24m_{п.э}}\right)$  раз, что составляет  $\sim 4$  раза при  $m_{g.o} \approx 7,0$  г, благодаря выполнению условия  $\gamma_{виб} \ll \gamma_{собс}$  и образец и игла колеблются в фазе друг с другом, поскольку они колеблются в фазе с внешним воздействием (пренебрегаем малым сдвигом фазы колеба-

ний держателей относительно колебаний станины, равным  $\delta \Delta_{\text{виб}} \ll \Delta_{\text{собс}}$ , где  $\delta$  - декремент затухания свободных колебаний, который для пьезоэлементов мал,  $\delta/2\pi \Delta_{\text{собс}} \ll 10^{-2} - 10^{-3}$ . Поэтому при идентичных пьезоэлементах амплитуда относительных колебаний образца и иглы составляет  $\frac{m_{\text{до}} - m_{\text{п.э}}}{0,24 m_{\text{п.э}}}$  от амплитуды колебаний иглы в известном микроскопе, и, таким образом, при  $(m_{\text{до}} - m_{\text{п.э}}) < 0,24 m_{\text{п.э}}$  станет меньше, чем в известном, т.е. будет достигнут положительный эффект. Если сами держатели имеют одинаковую массу, то в первом приближении разность амплитуд колебаний иглы и образца определяется массой последнего, и так как реально его масса при приведенных выше конструктивных размерах сканирующего туннельного микроскопа составляет доли грамма ослабление вибраций будет значительным.

**П р и м е р.** В изготовленном сканирующем туннельном микроскопе применены трубчатые пьезоэлементы с внешним диаметром 10 мм, длиной 32 мм, толщиной стенок 1 мм и массой  $m_{\text{п.э}} = 8$  г.

Пьезоэлементы снабжены сплошными цилиндрическими внутренними и внешними электродами. У второго пьезоэлемента 3 внешний электрод был разрезан по образующей на четыре идентичных секторных электрода, изолированных друг от друга. Управляющее напряжение  $U_2$  подается на первый пьезоэлемент 2, управляющие напряжения  $U_x (U_y)$  подаются на ортогонально расположенные пары секторных электродов. Держатели образца и иглы имеют одинаковую массу, равную 7 г. Материал пьезоэлемента выдерживает электрическое поле напряжен-

ностью до 10 кВ/см, поэтому возможно изменение напряжений  $U_x (U_y)$  в пределах  $\pm 2$  кВ, что обеспечивает диапазон сканирования в плоскости X, Y  $40 \times 40$  мкм<sup>2</sup>, т.е. в 2-3 раза больше по сравнению с известным микроскопом.

Чувствительность измеряется по шумовому сигналу сканирующего туннельного микроскопа и составляет 0,02 нм при времени измерения 1 с.

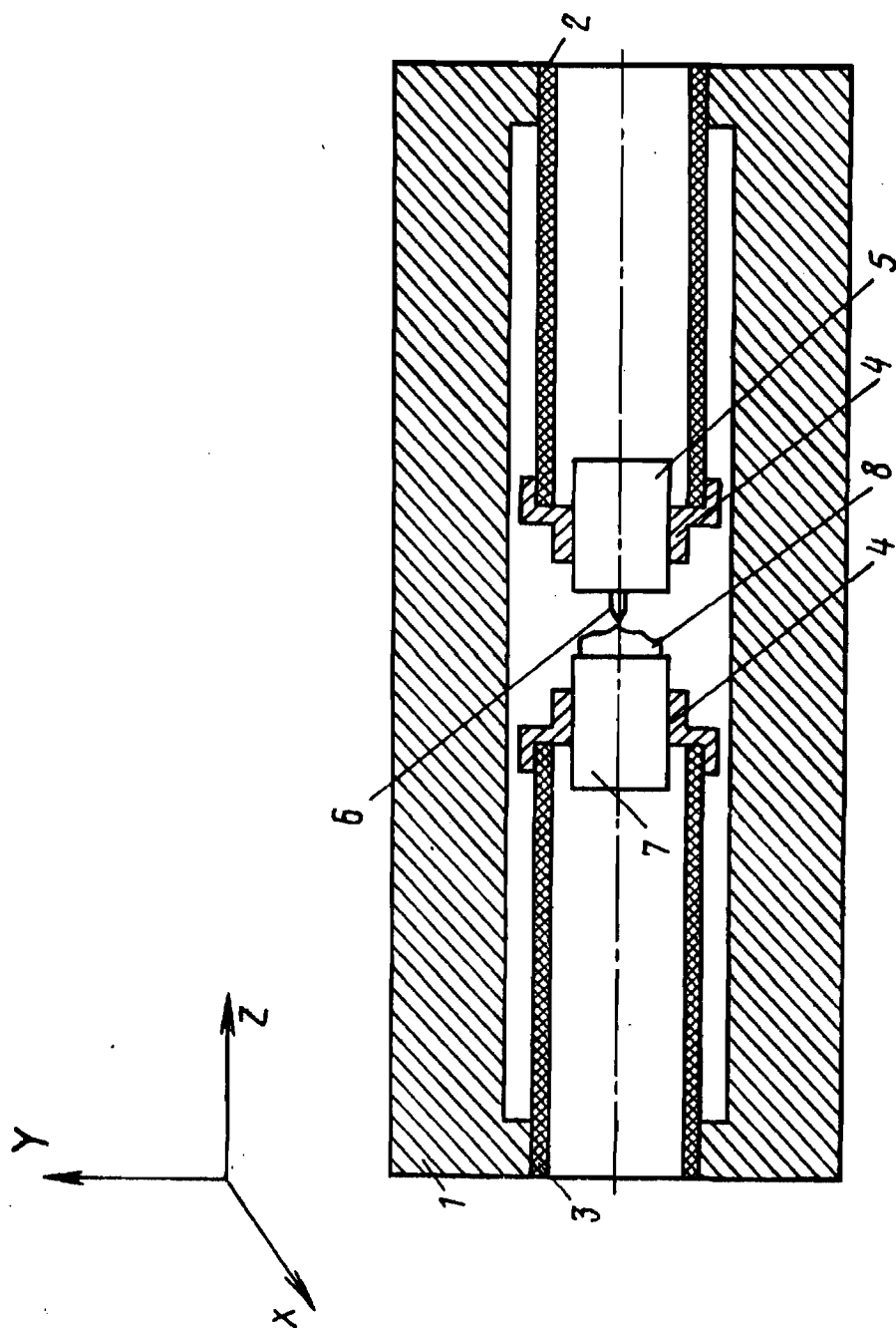
В таблице приведены данные, показывающие влияние различия массы держателей на чувствительность туннельного микроскопа в реальных лабораторных условиях, вибрации пола с амплитудой 1 мкм, частотой 100 Гц (измерено сейсмографом).

Как видно из приведенных примеров, предложенный сканирующий туннельный микроскоп обладает большей в 10-20 раз чувствительностью.

#### Ф о р м у л а и з о б р е т е н и я

Сканирующий туннельный микроскоп, содержащий корпус, трубчатый пьезоэлемент, один торец которого закреплен на корпусе, а на другом торце установлен держатель измерительной иглы, держатель образца и систему управления, отличающийся тем, что, с целью увеличения чувствительности и области сканирования, он снабжен вторым трубчатым пьезоэлементом, идентичным по форме и размерам первому трубчатому пьезоэлементу, расположенным соосно с ним и закрепленным одним из торцов на корпусе, при этом держатель образца установлен на свободном торце второго трубчатого пьезоэлемента, а разность масс держателей не превышает 0,24 массы трубчатого пьезоэлемента.

Микроскоп	Масса пьезоэлемента, г	Масса держателя иглы, г	Масса держателя образца, г	Чувствительность, нм
Известный	8	0,01	-	0,172
Предлагаемый	8	1,5	7,0	0,48
	8	5,08	7,0	0,17
	8	5,4	7,0	0,15
	8	7	7,1	0,009



Составитель В.Гаврюшин

Редактор Г.Волкова Техред Л.Олийных

Корректор М.Шароши

Заказ 7964/54

Тираж 696

Подписное

ВНИИПИ Государственного комитета по изобретениям и открытиям при ГКНТ СССР  
113035, Москва, Ж-35, Раушская наб., д. 4/5

Производственно-издательский комбинат "Патент", г. Ужгород, ул. Гагарина, 101